



## BALANÇO DE ENERGIA EM LARGA ESCALA NO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO-BA, BRASIL.

A. H. de C. TEIXEIRA<sup>1</sup>, M. SCHERER-WARREN<sup>2</sup>, F. B. T. HERNANDEZ<sup>3</sup>, R. G. ANDRADE<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, Ph.D. Pesquisador na área de agrometeorologia, Embrapa Monitoramento por Satélites - CNPM/Embrapa, CEP 13070-115 - Campinas - SP, Brasil, Fone (0 55 19) 32116200, heriberto.teixeira@embrapa.br

<sup>2</sup>Geógrafo, Pesquisador Doutor da Agência Nacional das Águas – ANA, Caixa Postal 9659 - 30160-030 - Brasília - DF, Brasil, morris@ana.gov.br

<sup>3</sup>Eng. Agrícola, Prof. Doutor Universidade de São Paulo – UNESP, Caixa Postal 34 - 13385-000- Ilha Solteira - SP, Brasil, fbthtang@agr.feis.unesp.br

<sup>4</sup>Eng. Agrônomo, Dr. Pesquisador na área de agrometeorologia, Embrapa Monitoramento por Satélites - CNPM/Embrapa, CEP 13070-115 - Campinas - SP, Brasil, ricardo.andrade@embrapa.br

Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Para, Belém, PA.

**RESUMO:** No município de Juazeiro, Brasil, a vegetação natural vem sendo substituída pela agricultura irrigada, destacando importância para a quantificação dos efeitos da mudança de uso da terra no balanço de energia em larga escala. Imagens MODIS foram usadas para modelagem dos componentes deste balanço na escala municipal, através do algoritmo SAFER. O saldo diário de radiação ( $R_n$ ) foi obtido através da equação de Slob, possibilitando a quantificação dos fluxos de calor sensível (H) e latente ( $\lambda E$ ) nesta escala de tempo. As frações médias de  $R_n$  fracionadas como H e  $\lambda E$  variaram de acordo com as condições termo-hidrológicas ao longo do ano, sendo respectivamente 82 e 18%. Entretanto, maiores valores de  $\lambda E$  e menores para H foram verificados nas áreas irrigadas, com alguns casos de advecção de calor detectados, provenientes das vizinhanças das culturas agrícolas. Os modelos aplicados na atual pesquisa podem subsidiar o monitoramento das mudanças climáticas e de uso da terra na escala municipal, sendo valiosas ferramentas para a sustentabilidade dos recursos hídricos no futuro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento remoto, Fluxo de calor latente, Fluxo de calor sensível.

### LARGE SCALE ENERGY BALANCE IN THE JUAZEIRO MUNICIPALITY, BRAZIL

**ABSTRACT:** In the Juazeiro municipality, Brazil, the natural vegetation has been replaced by irrigated agriculture, highlighting importance for the energy balance quantification on a large scale. MODIS satellite images were used for modelling the components of this balance on a municipality scale throughout the SAFER algorithm. The daily net radiation ( $R_n$ ) was retrieved throughout the Slob equation, allowing the quantification of the sensible (H) and latent ( $\lambda E$ ) heat fluxes on this time scale. The averaged fractions of  $R_n$  as H and  $\lambda E$  varied according to the thermo-hydrological conditions along the year, being respectively 82%, and 18%. However, higher values of  $\lambda E$  and lower for H were found in irrigated areas, with some cases of heat advection from the vicinities of the irrigated crops. The models applied in the current research, can subsidize the monitoring of the climate and land use changes effects on a municipality scale, being valuable tools for the water resources sustainability in the future.

**KEYWORDS:** Remote sensing, Latent heat flux, Sensible heat flux.



## INTRODUÇÃO

O município de Juazeiro, Estado da Bahia, Brasil, vem se tornando um importante polo agrícola, como resultado do avanço do desenvolvimento da irrigação nas vizinhanças do Rio São Francisco. Nestas condições, o uso do sensoriamento remoto por imagens de satélites, para a quantificação das trocas de energia em larga escala se torna muito relevante (Tang et al. 2009; Miralles et al. 2011). Considerando a simplicidade de aplicação e da não necessidade tanto da classificação de culturas nem de extremos hidrológicos, um algoritmo para a obtenção da evapotranspiração (ET), o SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Requirement*) foi desenvolvido e validado com dados de experimentos de campo (Teixeira et al., 2012). O objetivo da atual pesquisa foi testar a aplicação deste algoritmo com o uso conjunto de imagens MODIS e dados climáticos para, juntamente com estimativas do saldo de radiação, obter e analisar os componentes do balanço energia no município de Juazeiro-BA, Nordeste do Brasil, como subsídio ao manejo racional dos recursos hídricos em situações de rápida mudança de uso da terra e climáticas.

## MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta as localizações do município de Juazeiro, Estado da Bahia (BA), Nordeste do Brasil, e das estações agrometeorológicas utilizadas.



Figura 1 – Localização do município de Juazeiro, Estado da Bahia, Brasil, e estações agrometeorológicas utilizadas.

Imagens MODIS foram usadas sendo sete de 2010, duas de 2011 e uma de 2012, em conjunto com uma rede de oito estações agrometeorológicas. A adição de imagens dos dois últimos anos foi devido à carência de imagens MODIS com ausência de nuvens, para cobrir todas as condições termo-hidrológicas no ano de 2010. Para o cálculo de  $\alpha_0$  os valores de reflectância das bandas 1 e 2 com resolução espacial de 250m foram usados de acordo com a seguinte equação:

$$\alpha_0 = a + b\alpha_{P(1)} + c\alpha_{P(2)} \quad (1)$$

onde  $\alpha_{p(1)}$  e  $\alpha_{p(2)}$  são os albedos planetários nas bandas 1 e 2 medidas e a, b e c são coeficientes de regressão obtidos comparando-se estas medições com dados de campo descritos em Teixeira et al. (2008). Os valores destes coeficientes encontrados para as condições semiáridas brasileiras foram de 0,08, 0,41 e 0,14, respectivamente. Para a obtenção da  $T_0$ , as bandas termais 31 e 32 com resolução espacial de 1000m foram usadas. Uma regressão simples baseada na comparação da temperatura aerodinâmica obtida nos mesmos experimentos de campo para  $\alpha_0$  e na temperatura radiométrica medida pelo satélite foi usada:

$$T_0 = aT_{31} + bT_{32} \quad (2)$$

onde  $T_{31}$  e  $T_{32}$  são as temperaturas de brilho para as bandas 31 e 32 e os coeficientes de regressão foram igualmente 0,50 para as condições semiáridas brasileiras. Com as imagens de  $\alpha_0$ ,  $T_0$  e NDVI, o algoritmo SAFER foi aplicado para o cálculo da evapotranspiração (ET). Os valores diários de  $R_n$  foram estimados através da equação de Slob (Teixeira et al., 2008):

$$R_n = (1 - \alpha_0)RG - a_1\tau_s \quad (3)$$

onde  $a_1$  é um coeficiente de regressão da relação entre o saldo de radiação de ondas longas e a transmissividade atmosférica para ondas curtas ( $\tau_s$ ) que por sua vez foi correlacionada com os dados de temperatura do ar ( $T_a$ ). Transformando ET em unidades de energia, o fluxo de calor latente ( $\lambda E$ ) foi obtido, e o fluxo de calor sensível (H) estimado como resíduo no balanço de energia, negligenciando o fluxo de calor no solo (G) para o período de 24 horas (Teixeira et al., 2012).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os comportamentos dos totais mensais da precipitação (P) e médias diárias da radiação solar global (RG) ao longo dos anos de 2010 a 2012 são apresentados na Figura 2, com dados da estação Santa Helena (ver Figura 1).

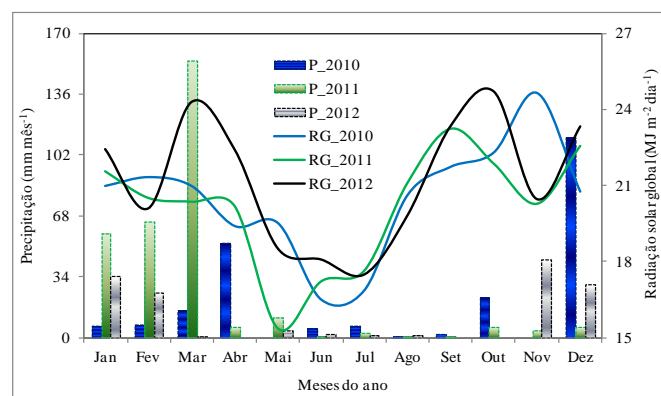


Figura 2 – Totais mensais de precipitação (P) e médias diárias da radiação solar global (RG), ao longo dos anos de 2010, 2011 e 2012 na estação agrometeorológica Santa Helena, situada na parte central do município de Juazeiro (BA), Nordeste do Brasil.

Com relação a P, percebe-se a concentração dos maiores valores no período de janeiro a março. Considerando-se os valores de RG, picos ocorrem nos momentos de culminação do



Sol na região, com valores de 4 e 5% maiores para 2012 que respectivamente para 2010 e 2011.

A Figura 3 apresenta a variação espacial de  $R_n$  na escala diária para diferentes condições termo-hidrológicas do ano, no município de Juazeiro (BA), Nordeste do Brasil.

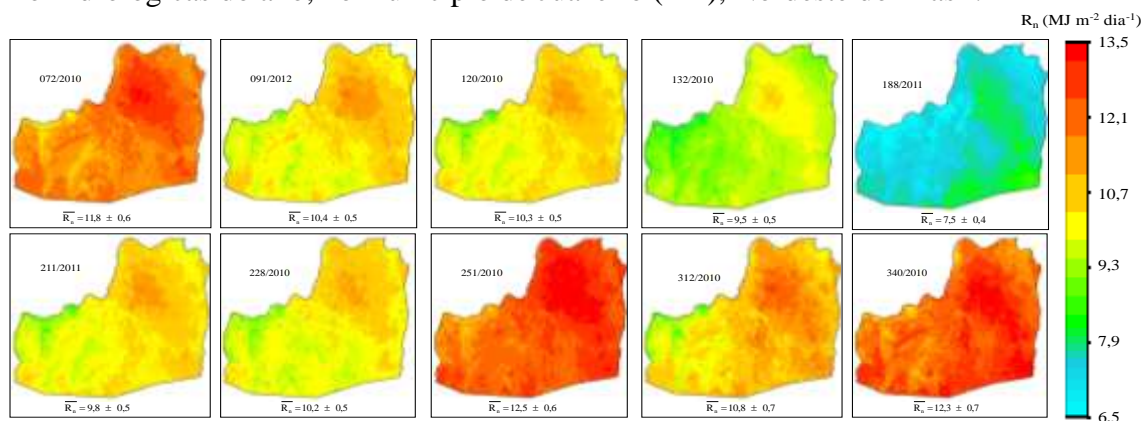


Figura 3 – Distribuição espacial do saldo diário de radiação ( $R_n$ ) para diferentes dias do ano (Dia/Ano), no município de Juazeiro, Estado da Bahia (BA), Nordeste do Brasil. As barras significam médias apresentadas juntamente com desvios padrões dos pixels.

Em geral há uma homogeneidade espacial de  $R_n$ , com baixos valores de desvios padrão (DP), evidenciando-se uma forte dependência da energia disponível nos níveis de RG (ver Figuras 2 e 3).

A Figura 4 mostra a variação espacial de  $\lambda E$  ao longo do ano na escala diária para os mesmos dias de  $R_n$ , no município de Juazeiro (BA), Nordeste do Brasil.

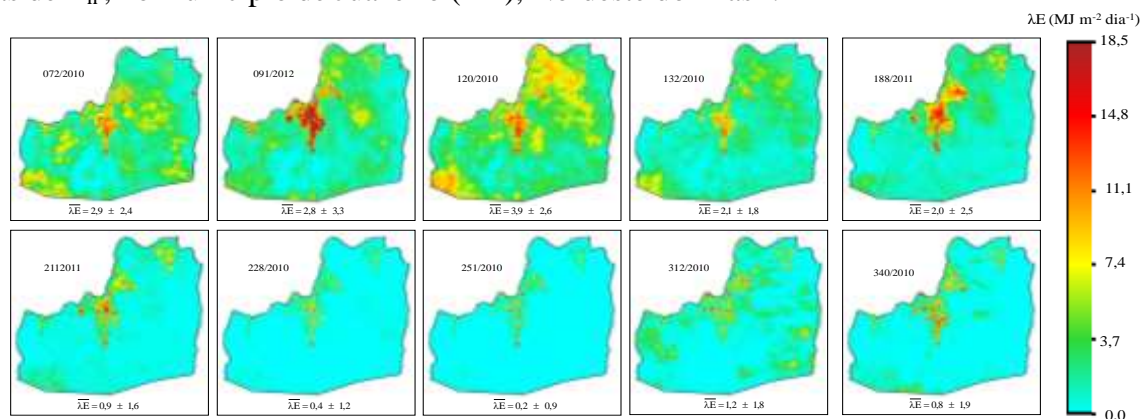


Figura 4 – Distribuição espacial do fluxo diário de calor latente ( $\lambda E$ ) para diferentes dias do ano (Dia/Ano), no município de Juazeiro, Estado da Bahia (PE), Nordeste do Brasil. As barras significam médias apresentadas juntamente com desvios padrões dos pixels.

Claramente podem-se distinguir as áreas irrigadas pelos mais elevados valores de  $\lambda E$ , concentrados nas vizinhanças do Rio São Francisco. Considerando o município como um todo, os maiores valores de  $\lambda E$  são para o Dia/Ano 120/2010, em média 3,9 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, devido ao efeito conjunto de elevada demanda atmosférica e suficiente umidade no solo na zona das raízes das espécies da Caatinga proveniente das chuvas no período chuvoso.

Entretanto, maior variação espacial (DP de  $3,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  na imagem 091/2012) ocorreu no final de março. O limite inferior dos valores de  $\lambda E$  acontece no Dia/Ano 251/2010, quando, com exceção das áreas irrigadas, ficam próximo de zero.

A Figura 5 apresenta a variação espacial de H para os mesmos dias de  $R_n$  e  $\lambda E$  no município de Juazeiro (BA), Nordeste do Brasil.

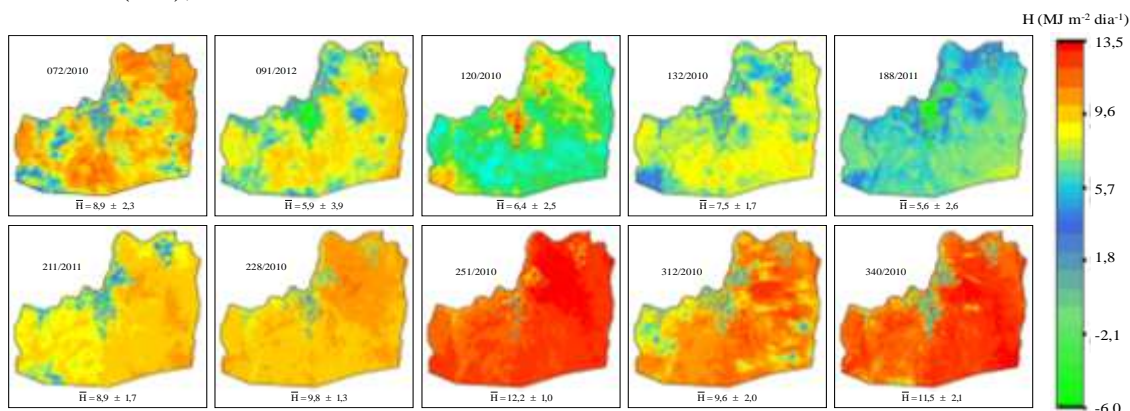


Figura 5 – Distribuição espacial do fluxo diário de calor sensível (H) para diferentes dias do ano (Dia/Ano), no município de Juazeiro, Estado da Bahia (PE), Nordeste do Brasil. As barras significam médias apresentadas juntamente com desvios padrões dos pixels.

No caso de H, caso distinguem-se as áreas irrigadas das espécies da Caatinga pelos mais baixos valores no primeiro tipo de vegetação, apresentando-se negativo em algumas ocasiões nas áreas com irrigação. Valores negativos de H evidenciam advecção de calor proveniente das áreas mais quentes nas vizinhanças das parcelas com culturas irrigadas. Isto acontece mais notadamente nas condições do final de março de 2012 (Dia/Ano 091/2012), quando acontecem intensos níveis de RG aliados à redução das chuvas nas espécies naturais. Considerando o município de Juazeiro como um todo, os maiores valores de H são para o mês de setembro (Dia/Ano 251/2010), representando 98% de  $R_n$ , devido às baixas condições de umidade e contínuo aquecimento da superfície acompanhando o movimento aparente do Sol. Com relação à variação espacial, a época chuvosa também se destaca com maiores valores de DP em torno de  $4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  nas condições da imagem do Dia/Ano 091/2012.

Para todo o município de Juazeiro e considerando-se todo o período ao longo do ano, as frações médias de  $R_n$  para  $\lambda E$  e H foram respectivamente de 82 e 18%, indicando que grande parte da energia diária disponível é usada para aquecimento do ar.

## CONCLUSÕES

O uso do sensoriamento remoto por imagens de satélite em conjunto com estações agrometeorológicas permitiu a quantificação e análises dos componentes do balanço de energia diário em larga escala ao longo do ano, no município de Juazeiro (BA), Nordeste do Brasil. O saldo de radiação é mais fortemente condicionado pelas condições de radiação solar do que pelas características dos diferentes tipos de vegetação existentes no município. Os fluxos diários de calor latente e sensível podem ser estimados em larga escala a partir de medições instantâneas das radiações nas faixas do visível e termal do sensor MODIS, através do modelo SAFER aliado às estimativas do saldo de radiação. As frações médias do saldo de



radiação para os fluxos de calor latente e sensível ao longo do ano foram respectivamente de 82 e 18%, considerando-se o município como um todo. Em algumas ocasiões nas áreas com culturas agrícolas evidenciaram-se fluxos de calor proveniente das vizinhanças das parcelas irrigadas, tornando os valores de fluxo de calor latente maiores que os do saldo de radiação. Os modelos utilizados em conjunto com a disponibilidade de rede de estações agrometeorológicas têm potencial para o monitoramento dos efeitos das mudanças de uso da terra e climáticas, visando-se a sustentabilidade dos recursos naturais.

**AGRADECIMENTOS:** Ao CNPq pelo suporte financeiro ao projeto de processo 472973/2011-8.

### REFERÊNCIAS

- MIRALLES, D.G., HOLMES, T.R.H., DE JEU, R.A.M., GASH, J.H., MEESTERS, A.G.C.A., DOLMAN, A.J. Global land-surface evaporation estimated from satellite-based observations. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 15, p. 453-469, 2011.
- TANG, Q., ROSEMBERG, E.A., LETENMAIER, D.P. Use of satellite data to assess the impacts of irrigation withdrawals on Upper Klamath Lake, Oregon. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 13, p. 617-627, 2009.
- TEIXEIRA, A.H. DE C., BASTIAANSSEN, W.G.M., AHMAD, M.D., MOURA, M.S.B., BOS, M.G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. *Journal of Hydrology*, v.362, p.110-127, 2008.
- TEIXEIRA, A. H. DE C. ; SHERER-WARREN, M. ; HERNANDEZ, F. B. T. ; LOPES, H. L. Water productivity assessment by using MODIS images and agrometeorological data in the Petrolina municipality, Brazil. In: SPIE remote sensing symposium, 2012, Edimburgo. *Proceedings of SPIE*, 2012. v. 8531. p. 85310G-1-85310G-10.

